

**ANALISIS BERKAS RADIASI PESAWAT RADIOTERAPI
LINEAR ACCELERATOR (LINAC) DENGAN TARGET
TUNGSTEN MENGGUNAKAN *SOFTWARE* MCNPX**



INTAN DYAH AYU PERMATASARI

M0213042

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian
persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Sains**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET SURAKARTA
APRIL 2018**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan Judul : Analisis Berkas Radiasi Pesawat Radioterapi *Linear Accelerator* (LINAC) dengan Target Tungsten menggunakan *Software* MCNPX

Yang ditulis oleh :

Nama : Intan Dyah Ayu Permatasari

NIM : M0213042

Telah diuji dan dinyatakan lulus oleh dewan penguji pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 25 April 2018

Dewan Penguji :

1. Ketua Penguji

Dr. Eng Kusumandari S.Si., M.Si

NIP. 19810518 200501 2 002

2. Sekretaris Penguji

Dr. Eng Budi Purnama S.Si., M.Si

NIP. 19731109 200003 1 001

3. Anggota Penguji 1

Dra. Riyatun, S.Si., M.Si

NIP. 19680226 199402 2 001

4. Anggota Penguji 2

Drs. Suharyana, S.Si., M.Sc

NIP. 19611217 198903 1 003

Disahkan pada tanggal 02.05.2018

Oleh

Kepala Program Studi Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sebelas Maret Surakarta



Dr. Fahu Nurosyid, S.Si., M.Si

NIP. 19721013 200003 1 002

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi intelektual Skripsi saya yang berjudul “Analisis Berkas Radiasi Pesawat Radioterapi *Linear Accelerator* (LINAC) dengan Target Tungsten menggunakan *Software* MCNPX” adalah hasil kerja saya dan sepengetahuan saya hingga detik ini. Skripsi ini tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau materi yang telah diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Universitas Sebelas Maret atau di Perguruan Tinggi lainnya, kecuali telah dituliskan di daftar pustaka Skripsi ini dan segala bentuk bantuan dari semua pihak telah ditulis di bagian ucapan terimakasih. Isi Skripsi ini boleh dirujuk atau diperbanyak secara bebas tanpa harus memberitahu penulis.

Surakarta, 1 Januari 2018

Intan Dyah Ayu Permatasari

MOTTO

“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan”

(QS.Al-Insyirah : 5)

“La Tahzan Innallaha Ma’ana”

(QS.At-Taubah : 40)

“Measure what is measurable and make measurable what is not so”

(Galileo Galilei)

“Research is creating new knowledge”

(Neil Armstrong)

“Don't get too comfortable with who you are at any given time, you may miss the opportunity to become who you want to be”

(Jon Bon Jovi)

“Many of life's failures are people who did not realize how close they were to success when they gave up”

(Thomas A. Edison)

“You never stop failing until you stop trying”

(Albert Einstein)

“When you have done what you have to do, but that's not perfect. Let it be”

(Author)

MAN JADDA WA JADDA

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan ridho dan kuasaNya, maka skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Ibu dan Bapak tersayang yang selalu memberikan doa, kasih sayang, didikkan, semangat, motivasi maupun materil sejak penulis dilahirkan ke dunia.
2. Adek nan lucu yang selalu memberikan semangat, keceriaan dan menjadi sahabat sejak dia terlahir;
3. Ibu Dra. Riyatun, M.Si dan Bapak Drs. Suharyana, M.Sc yang telah membagi ilmu dan pengalaman, serta memberikan motivasi, arahan dan bimbingan selama perkuliahan hingga pengerjaan skripsi;
4. Bapak Dr. Fahru Nurosyid, M.Si selaku Kaprodi Fisika FMIPA, beserta jajaran Staff Akademik Prodi Fisika FMIPA UNS;
5. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika yang telah memberikan motivasi dan ilmu pengetahuan selama proses perkuliahan;
6. Pembimbing Akademik, Bapak Khairuddin M.Phil., Ph.D, yang telah memberikan nasihat akademik dan tanda tangan KRS;
7. Chingo, Yunyun, Rikadribs, MbK Tiare Torr, Yamo, SepTik, dan teman-teman Kost Inori Putri 1 yang telah menjelajahi batas Korut dengan Ethiopia;
8. Ajeng cah kalem, Esti manusia sakti, Jakyah nasgor, Ipeh, Mael dan Teman-teman Grup Riset Nuklir dan Radiasi;
9. Keluarga besar EMF Fisika FMIPA 2013;
10. Teman-teman jurusan Fisika FMIPA dan Universitas Sebelas Maret;
11. Etchpi Pavilijifor dan Beat Fsitia RG, teman berjuang selama di Solo;
12. Yangkung, Yangti dan seluruh sanak saudara/i beserta keluarga besar yang telah memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran kuliah saya;
13. Para Sahabat dan Seluruh orang yang telah berjasa dalam hidup saya.

-TERIMAKASIH-

Tak ada yang dapat membalas suatu kebaikan, melainkan kebaikan itu sendiri

Analisis Berkas Radiasi Pesawat Radioterapi *Linear Accelerator* (LINAC) dengan Target Tungsten menggunakan Software MCNPX

Intan Dyah Ayu Permatasari
Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Sebelas Maret

ABSTRAK

Pada penelitian ini dilakukan simulasi untuk menentukan distribusi spektrum energi berkas radiasi sinar-X dan elektron yang dihasilkan oleh LINAC dengan target tungsten (W). Distribusi intensitas berkas radiasi di ruang target dan fantom air yang mewakili objek jaringan tubuh, dihitung melalui metode simulasi menggunakan perangkat lunak *Monte Carlo N-Particle eXtended version* (MCNPX). Validasi program simulasi dilakukan menggunakan tegangan pemercepat 40 kV pada target Al, Cu dan 70 kV pada target W. Berdasarkan hasil validasi diperoleh perbedaan relatif panjang gelombang sinar-X karakteristik sangat kecil 1,01%, nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil simulasi telah sesuai dengan teori, sehingga program simulasi dapat dilanjutkan. LINAC disimulasikan dengan energi elektron 6 MeV hingga 15 MeV menggunakan target logam tungsten (W). Distribusi intensitas spektrum energi dari sinar-X dan elektron ditinjau pada ruang target yang berada di kepala LINAC dan pada fantom air yang diletakkan di atas *couch treatment*. Dari semua energi elektron yang disimulasikan, sinar-X yang dihasilkan sebagian besar (40 – 75) % merupakan sinar-X dengan energi 1 MeV hingga 2 MeV, sedangkan intensitas sinar-X dengan energi sebesar energi elektron penembaknya, sangat kecil (0,03-0,340) %. Di samping itu, juga ditemukan elektron pada ruang target dan di dalam fantom air sebesar 2,5% hingga 5,7% dibandingkan intensitas sinar-X, sehingga dapat menambah dosis ekuivalen pada jaringan tubuh pasien. Informasi ini dapat digunakan untuk pembuatan desain filter rentang energi rendah yang mendominasi spektrum dan pertimbangan upaya proteksi radiasi.

Kata kunci: Linier Akselerator (LINAC), Target Tungsten, MCNPX, Sinar-X

Analysis of Radiation Beam on the Linear Accelerator (LINAC's) machine with Tungsten Target using MCNPX Software

Intan Dyah Ayu Permatasari

Physics Department, The Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Universitas Sebelas Maret, Surakarta

ABSTRACT

In this study a simulation was conducted to determine the distribution of energy spectrum of X-ray beam and electrons produced by LINAC with tungsten target (W). The intensity distribution of the radiation beam in the target space and the water phantom representing the body tissue object, calculated through the simulation method using Monte Carlo N-Particle eXtended version software (MCNPX). Validation of the simulation program was carried out using 40 kV acceleration voltage on target of Al, Cu and 70 kV at target W. Based on the validation results obtained the relative difference of X-ray wavelength characteristics is very small 1,01%, the value indicates that the simulation results have been in accordance with the theory, so the simulation program can proceed. Linac is simulated with 6 MeV electron energy up to 15 MeV using tungsten metal target (W). The intensity distribution of the energy spectrum of X-rays and electrons is reviewed in the target space located on LINAC 's head and on the water fantom placed on the couch treatment. Of all the electron energy simulated, X-rays generated mostly (40-75)% are X-rays with energy of 1 MeV to 2 MeV, whereas the intensity of X-rays with energies of the energies of the shooter's electrons is very small (0,03 -0,340)%. In addition, also found electrons in the target space and in the water phantom of 2,5% to 5,7% compared to the intensity of X-rays, so as to increase the equivalent dose in the patient's tissue. This information can be used for the manufacture of low energy range filter designs that dominate the spectrum and consideration of radiation protection efforts.

Keywords: *Linier Accelerator (LINAC), Tungsten Target, MCNPX , X-Ray*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala ridho serta limpahan nikmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Sholawat serta salam senantiasa penulis haturkan kepada Rasulullah SAW sebagai pembimbing seluruh umat manusia.

Skripsi yang diberi judul “Analisis Berkas Radiasi Pesawat Radioterapi *Linear Accelerator* (LINAC) dengan Target Tungsten menggunakan *Software* MCNPX“ ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan bantuan yang sangat besar selama proses pengerjaan, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Dengan penuh rasa hormat, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Dra. Riyatun, M.Si., selaku pembimbing I
2. Drs. Suharyana, M.Sc., selaku pembimbing II
3. Rekan-rekan Group Riset Nuklir dan Radiasi
4. Mbak Octaviana Era S.Si., selaku tentor MCNPX dan Mbak Diani

Semoga Allah SWT membalas segala bentuk kebaikan, pengorbanan dan jerih payah yang telah diberikan dengan balasan yang lebih baik. Penulis menyadari akan banyaknya kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Namun demikian, penulis berharap semoga karya kecil yang telah dihasilkan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan kelangsungan ilmu pengetahuan.

Surakarta, 25 Maret 2018

Intan Dyah Ayu Permatasari

PUBLIKASI

Sebagian skripsi saya yang berjudul “Analisis Berkas pesawat Radioterapi *Linear Accelerator* (LINAC) dengan Target Tungsten menggunakan *Software* MCNPX“ akan dipublikasikan pada Repository FMIPA UNS.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	1
HALAMAN PERNYATAAN.....	1
HALAMAN MOTTO	1
HALAMAN PERSEMBAHAN	1
HALAMAN ABSTRAK	1
HALAMAN ABSTRACT	1
KATA PENGANTAR.....	1
HALAMAN PUBLIKASI	1
DAFTAR ISI.....	1
DAFTAR GAMBAR.....	1
DAFTAR TABEL	1
DAFTAR SIMBOL.....	1
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	2
1.2. Batasan Masalah.....	2
1.3. Perumusan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Pesawat Radioterapi <i>Linear Accelerator</i> (LINAC).....	5
2.1.1. Kepala LINAC.....	6
2.2. Sumber Radiasi Elektron	7
2.2.1. Proses Pemercepatan Berkas Elektron	8
2.2.2. Proses Transport Berkas Radiasi pada LINAC	8
2.2.3. Interaksi Elektron dengan Materi	9
2.3. Target Tungsten.....	9
2.3.1. Sumber Radiasi Sinar-X	11
2.3.2. Sinar-X Bremstrahlung.....	12

2.3.3. Sinar-X Karakteristik.....	12
2.4. Interaksi Radiasi Sinar-X dengan Materi	13
2.4.1. Efek fotolistrik.....	13
2.4.2. Hamburan Compton	14
2.4.3. Produksi Pasangan	14
2.4.4. Reaksi Fotonuklir (γ, n).....	15
2.4.3. Produksi Pasangan	14
2.5. Program Simulasi MCNPX.....	16
2.6. Visual Editor.....	16
2.7. Tally MCNP	17
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	18
3.2. Alat dan Bahan	18
3.3. Prosedur Penelitian.....	19
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	18
3.3.1. Tahap Persiapan.....	20
3.3.2. Tahap Pembuatan File Input Model Geometri	22
3.3.3. Validasi Hasil Program Simulasi.....	25
3.3.4. Analisis Distribusi Sinar-X dari Target Tungsten (W).....	26
3.3.5. Analisis Berkas Radiasi pada Fantom	28
3.3.6. Tahap Kesimpulan.....	28
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	29
4.1. Validasi Program Simulasi.....	29
4.1.1. Validasi Definisi Sumber.....	30
4.1.2. Uji Kesesuaian Hasil Simulasi dari Target LINAC.....	30
4.2. Analisis Distribusi Elektron dan Sinar-X dari Target W	33
4.3. Deskripsi Sinar-X transmisi dari Target Tungsten (W)	35
4.4. Distribusi Berkas Radiasi dalam Fantom Air	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1. Kesimpulan.....	43
5.2. Saran	43

DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN.....	47
LAMPIRAN 1. Model Geometri Target	47
LAMPIRAN 2. Perhitungan Luas dan Volume Geometri	48
LAMPIRAN 3. <i>Script</i> Program Simulasi MCNPX.....	49
LAMPIRAN 4. Data Interaksi Partikel hasil Simulasi.....	53

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Ilustrasi Komponen Pesawat LINAC	6
Gambar 2.2. Spektrum energi empat material utama target.....	10
Gambar 2.3. Skema Tabung Sinar-X	10
Gambar 2.4. Spektrum Radiasi Elektromagnetik	11
Gambar 2.5. Distribusi spektrum sinar-X dari target tungsten.....	12
Gambar 2.6. Diagram Skema efek fotolistrik	13
Gambar 2.7. Geometri Hamburan Compton	14
Gambar 2.8. Skema Produksi Pasangan	15
Gambar 2.9. Tampilan konfigurasi VISED.....	16
Gambar 3.1. Diagram Alur prosedur penelitian.....	19
Gambar 3.2. Model Geometri Linier Akselerator	20
Gambar 3.3. Model Geometri Kepala Linier Akselerator (a) Model penuh Geometri Kepala LINAC acuan Van Dyk (b) Geometri Sistem Ruang Target yang dimodelkan.....	21
Gambar 3.4a. Model geometri target 45°.....	23
Gambar 3.4b. Model Geometri Kepala LINAC.....	23
Gambar 3.3.3. Diagram Alir (<i>Flowchart</i>) Model target 45°.....	25
Gambar 3.3.4. Diagram Alir (<i>Flowchart</i>) Model Kepala LINAC.....	27
Gambar 4.1. Model Geometri Program Simulasi Target 45°.....	29
Gambar 4.1.2. Spektrum Energi Sinar-X Karakteristik yang dihasilkan dari Target Cu (a) Al (b) dan Target W (c).....	31
Gambar 4.3. Spektrum Energi Sinar-X 6 MV (a) 9 MV (b) 12 MV (c) 15 MV (d) dari Target W.....	35
Gambar 4.4.1. Spektrum Energi Sinar-X 6 MV (a) 9 MV (b) 15 MV (c) dalam <i>Water Phantom</i>	38
Gambar 4.4.2. Spektrum Energi Elektron yang dihasilkan dari tegangan pemercepat 6 MV (a) 9 MV (b) 15 MV (c) dalam <i>Water Phantom</i>	41
Gambar 6.1. Tampilan VISED model geometri Target Kepala LINAC	47
Gambar 6.1.1. Tampilan 3D model geometri Target LINAC a) Tampak luar kepala LINAC b) Geometri Target.....	47

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.4.4. Nilai Batas ambang (<i>threshold</i>) terjadinya Fotonuklir.....	15
Tabel 2.7. Jenis Tally berdasarkan tujuan perhitungannya	17
Tabel 3.1. Data Spesifikasi Linier Akselerator	20
Tabel 3.2. Data Material Geometri	21
Tabel 4.1. Parameter Kesesuaian Program Simulasi.....	32
Tabel 4.2. Distribusi Sinar-X dari Target W.....	33
Tabel 4.3. Distribusi Energi Sinar-X Transmisi dari Target W.....	36
Tabel 4.4. Intensitas sinar-X pada ruang target dan <i>water phantom</i>	38
Tabel 4.4.1. Distribusi Sinar-X dalam <i>water phantom</i>	40
Tabel 4.4.2. Populasi elektron di dalam <i>water phantom</i>	42
Tabel 6.2. Perhitungan Luas dan Volume Geometri.....	48

DAFTAR SIMBOL

<u>Simbol</u>	<u>Definisi</u>
W	Tungsten
Al	Aluminum
Cu	Tembaga
Pb	Timbal

<u>Simbol</u>	<u>Kuantitas</u>	<u>Nilai dan Satuan</u>
V	Beda Potensial	MV
E	Energi	MeV
E_k	Energi Kinetik	MeV
h	Konstanta Planck	$6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
c	Kecepatan Cahaya	$3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
f	Frekuensi	s^{-1}
Φ	Fluks Partikel	$\text{partikel. cm}^{-2} . \text{s}^{-1}$